

五年制專科學校適用

# 工程材料學

雷萬清編著

臺灣開明書店印行

民國六十二年八月初版發行

每册新臺幣四十四元

工 程 材 料 學

\*

有 著 作 權 • 不 准 翻 印

主 編 者 國 立 編 譯 館

編 著 者 雷 萬 清

補 助 機 關 國 家 科 學 委 員 會

發 行 人 劉 甫 琴

印 刷 者 臺 灣 開 明 書 店

總發行所

臺北市中山北路一段七七號  
電話 五五三六 五八〇三  
郵局劃撥賬號第一二五七號

臺灣開明書店

(永裕—143J.)

基價 2.20

## 編輯大意

一、本書包括金屬材料及非金屬材料。足供五年制專科學校土木科每學期兩學分，一學年之使用。

二、本書編著之主要參考資料為陸志鴻先生之工程材料學第一卷金屬部分，第二卷非金屬部分及金屬物理學三書。內容注重實際應用，理論之敘述次之。

三、本書敘述之重點在土木工程應用方面的重要材料。非金屬部分諸如：水泥，混凝土，石材，磚類，木材及瀝青等。就其於製造，性質，用途，處理方法及品質檢驗等方面詳加敘述。金屬部分的重點放在結構用鋼。故以第七章鐵及鋼為主。其他非鐵金屬及合金鋼等理論僅略述其大意。

四、本書對於油漆，塗料，布類，絕緣材料從略。關於瀝青，竹材及塑膠因限於篇幅僅略述之。

五、研讀本書，必須以材料之實際配製方法的知識及在試驗室做其品質試驗輔之。故於本書之外，另編工程材料試驗一書。以供學生認識材料強度及其在設計上應用的限度。這樣才能使工程材料知識與工程設計的安全問題及經濟問題連貫。

## 編者的話

恩師 陸故教授筱海先生於上月離開人世了，而未能讓其親見本書的問世，內心哀痛得很。爲表示恩師在編者身上所化訓誨的心血，於此沈痛哀傷心情下將此書推出，望能有助於青年學子對工程材料之研究，尤其熱中於工業上實用材料的探討，以造福於窮苦的老百姓，拯救我工業落後的苦難國家，完成他老人家的心願。

第十二章金屬製品爲臺灣大學機械系張順太副教授的心血結晶，是其日日在 陸故教授左右作研究的結果，故本書真可說是一冊受作育之恩的記實。謝謝現在正在美國深造的張副教授，不是他的應允及鼓勵，恐怕這本書就不可能與各位青年朋友們見面了。

對五專用書編輯主持人業師 趙旭旦教授所賜的機會，由衷的感激，希望沒有辜負他老人家的厚愛。對國立編譯館及開明書店的熱心協助及大力支援，也一併致以深切的謝意。

中華民國六十二年六月廿九日

編者識

於國立臺灣大學土木系

# 工 程 材 料 學

## 目 錄

編者的話

編輯大意

第一篇 非金屬材料.....1~162

第一章 膠結材料 .....3~24

1-1 概述..... 3

1-2 石膏之煨燒..... 3

1-3 燒石膏之性質..... 4

1-4 石膏之種類及其用途..... 5

1-5 石灰之製造..... 6

1-6 生石灰及消石灰..... 7

1-7 石灰之用途..... 8

1-8 苦土水泥..... 9

1-9 水硬性石灰.....11

1-10 波德蘭水泥.....11

1-10-1 波德蘭水泥之原料.....12

1-10-2 水泥之製法.....12

1-10-3 水泥之化學成分.....15

1-10-4 水泥之水化作用.....16

1-10-5	水泥之物理性質	18
1-10-6	波德蘭水泥之用途	20
1-10-7	波德蘭水泥各國規範	20
1-11	波德蘭早強水泥	21
1-12	混合波德蘭水泥	22
1-13	特殊水泥	23
	問 題	24
<b>第二章 混凝土</b>		<b>25~80</b>
2-1	概說	25
2-2	混凝土之原料	25
2-3	混凝土材料之配合比	33
2-4	混凝土的工作度，稠度和坍度	34
2-5	混凝土之各種配合法	35
2-6	混凝土材料需量估計	43
2-7	混凝土之灌澆	46
2-8	混凝土之性質	49
2-9	混凝土之養護	58
2-10	混凝土之強度與齡期的關係	64
2-11	特殊混凝土	65
2-12	混凝土製品	73
2-13	混凝土品質檢驗	74
2-14	混凝土性質改變處理	77
	問 題	78

---

第三章 石材與黏土製品 .....	81~105
3-1 概說 .....	81
3-2 石材的構成及分類 .....	82
3-3 石材的性質 .....	84
3-4 石材的品質檢驗 .....	85
3-5 天然石材的開採及加工 .....	86
3-6 石材在工程上之應用 .....	87
3-7 黏土製品概說 .....	88
3-8 黏土製品之主要種類 .....	89
3-9 磚之製造 .....	90
3-10 隧道窯 .....	94
3-11 磚之性質 .....	98
3-12 磚之品質檢驗 .....	100
3-13 瓦 .....	100
3-14 耐火磚之性能及種類 .....	102
3-15 陶管及衛生陶瓷器 .....	103
問 題 .....	104
第四章 木 材 .....	106~130
4-1 概說 .....	106
4-2 樹木之分類 .....	107
4-3 木材之結構 .....	108
4-4 木材之採伐及加工 .....	111
4-5 木材之性質 .....	112

4-6	木材品質的檢驗 .....	116
4-7	木材的用途 .....	120
4-8	木材之疵病 .....	120
4-9	木材之腐爛與蛀蝕 .....	122
4-10	木材之特殊處理 .....	123
4-11	木材之體積計算法 .....	124
4-12	層板之製法及其用途 .....	125
4-13	竹 .....	128
	問 題 .....	129
<b>第五章 瀝青質材料</b> .....		131~145
5-1	概說 .....	131
5-2	瀝青質材料之分類 .....	132
5-3	瀝青質材料之性質及其檢驗 .....	132
5-4	石油地瀝青及焦油之製造 .....	133
5-5	瀝青質材料之各國規範 .....	136
5-6	瀝青質材料之用途 .....	136
5-7	地瀝青混凝土混製方法 .....	138
5-8	地瀝青混凝土路面施工要點 .....	139
5-9	地瀝青填縫材料 .....	141
5-10	瀝青質材料製品 .....	141
5-11	乳化地瀝青及乳化焦油 .....	142
5-12	乳化地瀝青的使用 .....	143
	問 題 .....	144



---

第六章 塑膠體及橡膠	146~162
6-1 概說	146
6-2 塑膠體之分類	146
6-3 塑膠體的原料及製造方法	148
6-4 塑膠的性質及其檢驗	149
6-5 塑膠體製品之優劣點	150
6-6 塑膠體之加工成形法	152
6-7 臺灣省塑膠製品的生產情形	156
6-8 橡樹產橡膠之過程	156
6-9 加硫橡膠之性質及其檢驗	158
6-10 人造橡膠	159
6-11 塑膠體及橡膠之用途	159
問 題	160
第二篇 金屬材料	163~266
第七章 鐵及鋼	164~183
7-1 概說	164
7-2 生鐵之冶煉	164
7-3 鋼之鍛鍊	167
7-4 鐵與鋼之分類	170
7-5 鋼之製品成形法	171
7-6 鋼之性質	174
7-7 鋼材之工地品質檢驗	178

7-8	鋼之用途 .....	180
7-9	合金鋼 .....	182
	問 題 .....	183
<b>第八章 鑄鐵及鐵鋼 .....</b>		<b>184~197</b>
8-1	概說 .....	184
8-2	鑄鐵之原料及其設備 .....	184
8-3	鑄鐵之製造 .....	186
8-4	鑄鐵之鑄造方法 .....	186
8-5	鑄鐵之類別 .....	188
8-6	鑄鐵之性質及用途 .....	189
8-7	鑄鋼之製造 .....	190
8-8	鑄鐵之分類 .....	192
8-9	鑄品之瑕疵 .....	192
8-10	鑄件瑕疵發生之原因及其補救方法 .....	193
8-11	鑄鋼品設計時應注意事項 .....	194
8-12	鑄鋼的性質及用途 .....	196
	問題 .....	196
<b>第九章 鐵及鋼的組織及合金理論 .....</b>		<b>198~214</b>
9-1	結晶粒 .....	198
9-2	純鐵之組織 .....	200
9-3	合金理論 .....	201
9-4	相律 .....	202

---

9-5	平衡圖之意義及其製作方法 .....	204
9-6	二成分系合金平衡圖諸基本型式 .....	205
9-7	碳鋼之平衡圖 .....	208
9-8	鋼的正常組織 .....	209
9-9	鋼在高溫時之組織變化 .....	210
9-10	鑄鐵之顯微鏡組織 .....	212
	問題 .....	213
<b>第十章 鋼之處理及銲焊</b> .....		<b>215~226</b>
10-1	概論 .....	215
10-2	鋼之機械處理 .....	216
10-3	鋼之熱處理的意義 .....	217
10-4	鋼之熱處理的類別 .....	218
10-5	熟鐵之製造 .....	222
10-6	熟鐵之性質及用途 .....	223
10-7	鋼之銲焊種類 .....	223
10-8	銲焊之方法 .....	224
10-9	焊接之類型 .....	225
	問 題 .....	225
<b>第十一章 非鐵金屬</b> .....		<b>227~241</b>
11-1	概說 .....	227
11-2	銅的性質及用途 .....	227
11-3	銅合金 .....	229
11-4	鋁之製造 .....	232

11-5	鋁之性質及用途 .....	233
11-6	鋁合金 .....	234
11-7	鉛、鋅、錫及其合金 .....	234
11-8	鎂及鎂合金 .....	239
11-9	鎳、鉻及鎳合金 .....	239
	問 題 .....	241

## 第十二章 金屬製品 .....242~266

12-1	構造用之軋延材 .....	242
12-2	鍍鋅鐵類及鍍錫鐵類 .....	248
12-3	鉚釘、螺桿釘、螺帽、墊圈及環首螺栓 .....	251
12-4	鋼管及鑄管 .....	256
12-5	釘 .....	260
12-6	鋼鐵製之基礎樁 .....	261
12-7	鋼索 .....	264
12-8	金屬網類 .....	265
12-9	金屬踏板及壁，天花板，屋頂所用之金屬板 .....	265
12-10	鉛擠型類 .....	266

## 第一篇 非金屬材料

工程材料學為現代工程之母。舉凡新型的設計，太空的研究及海洋的鑽探，莫不先研究材料的物理性質。看其是否能耐高熱，強度是否夠不斷的疲勞使用，及地震颶風等外在力量對其結構穩定的影響。土木工程所包括的範圍極廣。諸如：道路，橋樑，高壩，港灣及都市給水，污水排除等。故其使用材料涉及多方面。本篇僅就非金屬材料部分，依其使用情況，分次討論之。

本篇第一章介紹石膏，石灰及水泥。水泥材料在工程上之重要性，由其使用量的日見增加，及其製造工廠的如雨後春筍般的設立，可知之。本章僅以使用量最廣的波德蘭水泥做詳盡的報導與分析。其他水泥略述之。第二章混凝土材料為本篇分量最重之一章。當為土木科學生必須深知而善為運用的一種材料。舉凡道路，海港及混凝土壩，皆需大量的混凝土體積。若能在配合上面加以研究，減少水泥的用量而不損其強度。或增加水泥的用量，改進其強度，令混凝土使用量減少，都可使工程費用大大的節省，使政府有足夠的經費再繼續舉辦其他公共事業，此實為我工程師報國之一途徑。第三章石材為天然的工程材料。若無其他科學輔之以行，很不容易達到經濟利用的目的。例如：西德與荷蘭是使用石材較多的國家，荷蘭是由外進口石材，西德則像採煤一樣開發其自然資源，在黑森林山區是其產花崗石最多之地，為了利用這些資源，每年由地質系教授帶領土木系學生實地參觀並作野外工程地質實習的講解，以加深土木工程系學生對石材使用之

知識。故其橋墩，街道鋪面，房屋基礎，萊茵河兩岸護岸，皆由花崗石材料造成。臺灣亦為多山區，可資利用之石材不少。然因開採及運輸成本太高，鮮能為我工程師所利用。第四章黏土製品，為我國工程師所熟知的建築及土木工程材料。由於燃料之供不應求，工資的逐漸提高，所以紅磚價格在五十七年曾一度突漲。以經濟之觀點分析，水泥的空心磚可代取其在工程上之地位。因為水泥磚可用機器拌混，大量製造，且不需煨燒過程。第五章，木材亦為自然資源，且為其他工業材料的原料。若以工程材料科學論點剖析，木材實應以科學方法培植，以法律保護，以經濟方式開採，以合理的程序使用。像我國濫伐及不適時栽種幼苗以補充之，必使該項自然資源漸趨枯竭，故應對森林的維護加以研究。其用途有房屋地板，牆壁，開礦之撐架及道路工程隧道之支撐等。第六章：瀝青質材料。由於汽油之使用量大增，其副產品焦油及瀝青也隨之產量大增。經道路工程人員對地瀝青混凝土道路鋪面的研究成功，又因公路及超級公路之需求量增多，故地瀝青路面發展的很快，且有整套的機器，只要原料在工廠配合好，放入地瀝青鋪路機內，就會立刻成為路面。效果之高，路面之平整與耐用不下於混凝土路面。第七章：塑膠材料。因橡膠的使用器件大增，橡膠產量不敷需求，橡樹之生長受自然的限制，因之刺激人造橡膠及塑膠工業的突飛猛進。歐洲有三百公尺長，五十公分直徑的輸水管可由公路直接運輸作海港工程時挖泥船之排砂管。若為鑄鐵管就決不可能在運輸上有此優點。因鑄鐵彈性極弱，性脆，在鐵路或拖車運輸時會受損傷。所以工程材料之進步，與交通工程，化學工業的昌明有非常密切的關係。

# 第一章 膠結材料

## 1-1 概 述

石膏，石灰和水泥稱膠結材料。所謂膠結材料乃是說明一種無機材料與水拌和後能發生黏性，而隨時間之經過可硬化結成硬塊之材料。在隨時間經過時只能露於空氣中完全硬化者，謂之氣硬性膠結材料如：石膏，石灰及苦土水泥等。有的膠結材料不論置於空氣中，或置於水中皆能進行硬化者，謂之水硬性膠結材料如：水硬石灰，天然水泥及波德蘭水泥等。

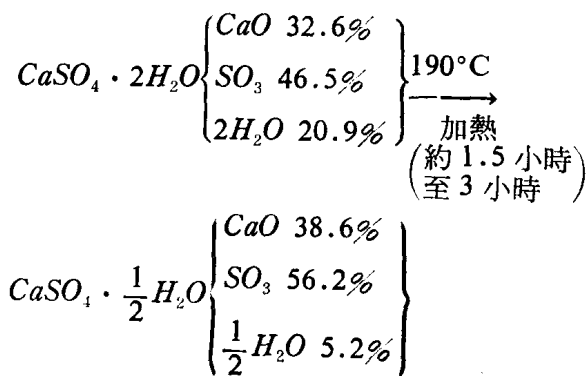
本章所注重者為水硬性膠結材料。因為氣硬性膠結材料如用途較廣的生石灰，當其在水中時便發生鬆散，且失去其結合強度，因此在潮溼的地方或水中就無法進行工程的建造，故於 1756 年英人約翰·斯密頓 (John Smeaton) 發現利用含泥質較多的石灰石製成石灰。這種石灰亦能於水中硬化，因之稱為水硬性石灰。從此為膠結材料開闢了一條新的路徑。1824 年英人約瑟夫·阿斯彼丁 (Joseph Aspdin) 利用黏土和石灰配製天然水泥時，發現用石灰與黏土經煨燒後，將其燒塊研碎磨成粉，遇水凝結硬化之性能極佳。有如石塊。其顏色如英國波德蘭島之石頭顏色相似。故命名為「波德蘭水泥」。為膠結材料中用途最廣且為工程師最喜使用之膠結材料。

## 1-2 石膏之煨燒

煨燒石膏之原料為含水之硫酸鈣結晶礦石 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )，比

重為 2.3~2.33，質純者白而透明。其中含 20.9% 的結晶水。常成層產生於石灰岩或頁岩中。

工業上煨燒石膏之過程：先將結晶石膏置於壓碎機中，壓碎至 2.5 公分的碎塊，再經軋碎機研磨，最後置於旋窖中烘燒，能連續大量產生燒石膏。其溫度控制在 190°C 以下，煨燒時間約 1.5 小時至 3 小時後，便使結晶石膏失去  $\frac{3}{4}$  的結晶水而成爲燒石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) 其化學反應爲：



### 1-3 燒石膏之性質

燒石膏色純白，比重為 2.6，每升重 0.7~1.2 公斤，加水後逐漸凝固。復變成  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，需時自數分鐘至數小時不等。其強度是由於細密針狀結晶組織而發生。質純者於 5~15 分鐘即硬化完成。燒石膏與水混合凝固後數日內其強度最高。時間愈久因空中潮氣之緣故強度反會減小。硬化後硬度不甚大。根據美國材料試驗學會 (A.S.T.M.) C23-22 規範，就粉末粗細分爲二種：

第一種全部通過 14 號篩（每吋有 14 間隔，每平方吋面積有孔 196 個），75% 以上通過 100 號篩（每吋有 100 間隔，每平方吋面積



有孔 10,000 個或 0.15 公厘篩孔)。

第二種粉末是全部通過 14 號篩，40% 以上通過 100 號篩（即有少於 60% 的留於 100 號篩上）。其抗拉強度在 14 公斤/平方公分以上。抗壓強度在 70 公斤/平方公分以上。凝結時間（無緩凝劑）10 分——40 分鐘。有緩凝劑時為 40 分鐘至 6 小時。

#### 1-4 石膏之種類及其用途

石膏之類別，因原料之純度不同，煨燒之溫度不同，可分為低溫煨燒石膏類及高溫煨燒石膏類。茲分別敘述如下：

（一）低溫煨燒結晶石膏，去水作用不完全。溫度控制在  $160^{\circ}\text{C}$  ~  $190^{\circ}\text{C}$  之間。失去結晶石膏  $\frac{2}{3}$  的結晶水。按原料之純度又可得二種石膏。

1. 塑像石膏 原料純度高，但因凝結過速，在土木工程上應用極少。僅可作裝飾品，粉刷之用。

2. 墁牆石膏 用黏土質石膏燒成，且加入 0.2% 之緩凝劑（如膠質，木屑等），延長其凝結時間，或加入滑石灰（為熟石灰加水  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ ）以增加其塑性，在使用時常加入少量羊毛，石綿等纖維質以減少其乾後收縮之裂縫。故用於墁牆時有快硬及堅固之優點。

（二）高溫煨燒結晶石膏：按原料之純度及溫度的不同可分二種：

1. 地板石膏 用原料純度高之結晶石膏在溫度  $400^{\circ}\text{C}$  ~  $500^{\circ}\text{C}$  間燒成。其用途為做地面及牆壁之用。

2. 硬結石膏 為不純之原料如黏土質石膏或石膏中加入適量之明礬，硼砂等，在高溫  $800^{\circ}\text{C}$  ~  $900^{\circ}\text{C}$  以上燒成。亦可作鋪地之用。惟須保持乾燥，方可歷時較久不壞。並可製成金氏水泥（Keen's）。